

**Damping element for e.g. electrical engineering**

**Patent number:** DE19735649  
**Publication date:** 1999-03-18  
**Inventor:** GESEMANN HANS-JUERGEN DR (DE);  
SCHOENECKER ANDREAS DR (DE)  
**Applicant:** FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** H01L41/09; G10K11/178  
- **european:** B06B1/06C2; F16F15/00P; G10K11/178E; H01L41/08  
**Application number:** DE19971035649 19970816  
**Priority number(s):** DE19971035649 19970816

**Report a data error here**

**Abstract of DE19735649**

The element consists of piezoelectrical or electrostrictive material with single elements of stack actuators with low stack height. The elements are provided on top of each other on the element to be damped. At least two single elements are not close coupled and a distance is provided between the two single elements. The two elements are electrically connected and a sensor is on the back side of the element to be damped

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**

⑬ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift  
DE 197 35 649 C 2**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 01 L 41/09**  
G 10 K 11/178

②① Aktenzeichen: 197 35 649.4-35  
②② Anmeldetag: 16. 8. 1997  
④③ Offenlegungstag: 18. 3. 1999  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 31. 8. 2000

01

DE 197 35 649 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ **Vertreter:**  
Rauschenbach, M., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 01187  
Dresden

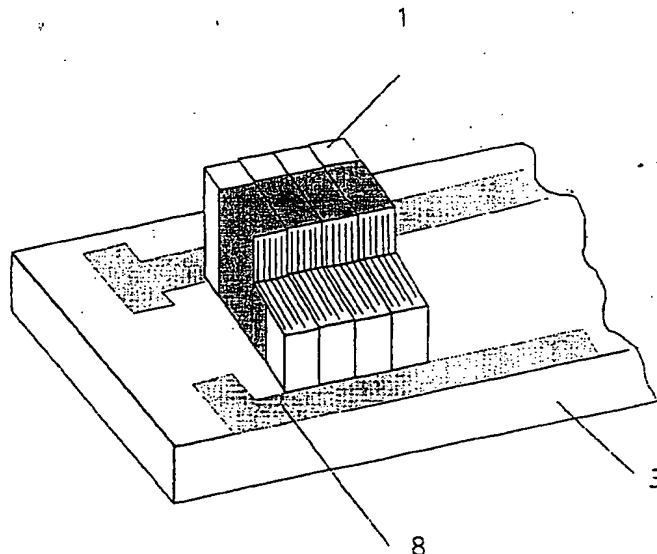
⑦② **Erfinder:**  
Gesemann, Hans-Jürgen, Dr., 09648 Seifersbach,  
DE; Schönecker, Andreas, Dr., 01705 Freital, DE

⑥⑥ **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:**

DE	41 32 723 A1
US	56 56 882
US	54 85 053
US	53 05 507

⑤④ **Anordnung zur Dämpfung**

⑤⑦ Anordnung zur Dämpfung aus elektrisch angeschlos-  
senen Einzelelementen aus piezoelektrischem oder elektro-  
striktivem Material, bei dem die Einzelelemente aus Stapel-  
aktoren aus mindestens zwei Schichten bestehen und  
diese Einzelelemente in Reihe oder in Gruppen solcher  
Reihen oder in mehreren Ebenen übereinander auf das zu  
dämpfende Element aufgebracht und fest mit diesem ver-  
bunden sind, wobei die Einzelelemente nicht fest mitein-  
ander verbunden sind.



DE 197 35 649 C 2

Die Erfindung bezieht sich auf die Gebiete der Elektrotechnik/Elektronik, des Maschinenbaus und des Fahrzeugbaus und betrifft ein Dämpfungselement, wie es z. B. zur aktiven Bedämpfung von Flächen oder Trägern mit "Aufbauten" bei auftretenden Deformationen durch beispielsweise Vibrationen oder Verbiegungen oder Verbeulungen, die z. B. bei Temperaturänderungen in Systemen auftreten können, eingesetzt werden können.

In technischen Systemen der verschiedensten Größen treten immer wieder unerwünschte Deformationen auf. Dies können Vibrationen sein, die beispielsweise bei Maschinenteilen auftreten oder Deformationen in Aufbauten durch Temperaturschwankungen, die unerwünschte Dejustierungen von optischen Achsen bewirken.

Die aktive Dämpfung durch Gegensteuerung mit verschiedenen Elementen ist deshalb eine wichtige Aufgabe der Technik. Verschiedene Elemente werden dazu eingesetzt. Das Grundprinzip ist die Feststellung der Deformation mit einem Sensor. Ausgehend von der ermittelten Deformation wird mit einem Aktor der Deformation entgegengewirkt. Das Entgegenwirken wird durch eine Steuerung geregelt.

Bekannt geworden sind als Aktoren aufgeklebte piezoelektrische Platten (Forschungsberichte der DKG, Bd. 10(95) Heft 4, S. 213-223) und eingegossene piezoelektrische Fasern (J. of Intell. Mat. Syst. and Struct. Vol. 6 Nr. 3 pp. 338 (1995)). Bei Verwendung dieser Bulk-Materialien ist jedoch die Festigkeit sehr klein und die Bruchgefahr dementsprechend groß.

Bei PZT-Dickschichten auf  $Al_2O_3$  ist die Festigkeit zwar besser gegeben, aber die Verbiegungen sind auch kleiner.

Im Entwicklungsstadium befindet sich die Verwendung von Piezomaterial für die passive Dämpfung (Mat. Research Lab. Penstate Univ. 16802, Sonderdruck). Die über den Piezoeffekt erzeugten Spannungsgradienten werden über einen Widerstand kurz geschaltet und damit wird die Deformation in Wärme umgewandelt. Dieses Prinzip ist jedoch im Wirkungsgrad umstritten und wird für die vorliegende Erfindung nicht angewandt.

Die Nachteile der nach dem Stand der Technik eingesetzten Elemente für die aktive Bedämpfung sind die geringe mechanische Stabilität und die zu geringe Steifigkeit. Werden diese Elemente dicker hergestellt und eingesetzt, so wird die Anspannung für diese Elemente sehr groß.

Geht man zu monolithischen Elementen über, so werden diese Elemente zu teuer. Nur PZT-Dickschichten würden die notwendige Festigkeit und Steifigkeit besitzen, jedoch ist bei ihnen die Durchbiegung zu klein.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, preiswerte Anordnungen zur Dämpfung in variablen Größen und Leistungen für eine aktive Bedämpfung von sich deformierenden Bauteilen anzugeben, die auch große Kräfte aufbringen können.

Die Aufgabe wird durch eine Anordnung zur Dämpfung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch die Verwendung eines Aktors mit den Merkmalen des Anspruchs 20 gelöst. Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die erfindungsgemäße Lösung beruht auf der gefundenen Erkenntnis, daß Stapelaktoren mit geringer Stapelhöhe hintereinander aufgebracht, sozusagen "in Reihe geschaltet", das zu dämpfende Element stark verbiegen, entgegen der Deformation. Die relativ geringe Verbiegung des Einzelelementes wird durch die Hintereinanderaufreihung summiert und führt damit zu einer ausreichenden Verbiegung.

Der besondere Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die Einzelelemente ohne weiteres nach der bekannten Tech-

nologie zur Herstellung von MLC-Kondensatoren hergestellt werden können. Dieses Verfahren ist in der Technik eingeführt und Stapelaktoren können damit in großer Stückzahl, zu einem geringen Preis und entsprechend ihren Abmessungen und Stapelanzahl in variablen Leistungen produziert werden. Die Abmessungen sind standardisiert und es ist dadurch möglich ein breites Sortiment herzustellen.

Anstelle des Kondensatormaterials wird lediglich ein piezoelektrisches oder elektrostriktives Material verwendet. Dies bringt bei der bekannten Technologie keine Probleme.

Als Werkstoffe eignen sich besonders PZT-Materialien einschließlich modifizierter Abkömmlinge und auch Relaxorferroelektrika (Bleiperowskite)

Für den Fall, daß die Einzelelemente aus einem elektrostriktiven Material bestehen, so ist es vorteilhaft, ein Material mit einer möglichst hohen Elektrostriktion  $Q$  zu wählen. Bei einem solchen Fall tritt unabhängig von der Richtung des Feldes ( $\pm E$ ) senkrecht zu den Schichten der Stapelaktoren eine Dehnung und parallel zu den Schichten eine Kontraktion auf.

Für den Fall, daß die Einzelelemente aus einem gepolten piezoelektrischen Material bestehen, gelten folgende Fälle.

Beim Anlegen einer Spannung entgegen der Polungsrichtung ( $-E$ ) erfolgt eine Kontraktion jeweils senkrecht zu den Schichten des Einzelelementes und in Richtung der Schichten eine Dehnung. Die Spannung ( $-E$ ) darf jedoch nicht zu groß sein, da sonst eine Umpolung erfolgt.

Beim Anlegen einer Spannung in Richtung der Polung ( $+E$ ) sind die Verhältnisse umgekehrt. Hier braucht auch keine Umpolung befürchtet werden. Senkrecht zu den Schichten der Einzelelemente gilt die piezoelektrische  $d_{33}$ -Konstante ( $S_3$ -Wert), in Richtung der Schichten gilt die piezoelektrische  $d_{31}$ -Konstante ( $S_1$ -Wert für Großsignal).

Entsprechend dem angestrebten Effekt können die Einzelelemente des Dämpfungselementes auf das zu dämpfende Element aufgebracht werden. Durch das Aufbringen werden die durch die Deformation erzeugten Kräfte auf das Dämpfungselement übertragen. Vorteilhafterweise kann das Aufbringen durch Aufkleben erfolgen.

Das Aufbringen der Einzelelemente kann hinsichtlich der Richtung ihrer Schichten unterschiedlich durchgeführt werden. Werden die Einzelelemente senkrecht zum zu dämpfenden Element aufgebracht, so wirkt die  $S_3$ -Dehnung, die besonders groß ist, und verbiegt das zu dämpfende Element konvex.

Werden die Einzelelemente so aufgebracht, daß ihre Schichten parallel zum zu dämpfenden Element liegen, so wirkt die  $S_1$ -Kontraktion, die kleiner ist, und verbiegt das zu dämpfende Element konkav.

In vielen Anwendungsfällen sind zwei Einzelelemente nicht ausreichend, sondern es müssen mehrere angeordnet werden.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung besteht darin, daß bei einer Dehnung des Dämpfungselementes die Abstände zwischen den Einzelelementen und auch die nicht feste Verbindung der Einzelelemente untereinander kleine Dehnungslücken bilden. Diese Dehnungslücken, die sich bei der Rückführung des Dämpfungselementes in die Ausgangslage wieder zurückbilden, bilden für das gesamte Bauteil eine "Sollbruchstelle". Dadurch wird das Einzelelement bei der Dehnung in Abhängigkeit von seiner Stapelhöhe in sich nur wenig oder gar nicht verbogen, wodurch kaum ein unkontrollierter Laminatbruch oder eine unkontrollierte Rißbildung auftritt. Das Einzelelement und auch das Dämpfungselement haben somit eine wesentlich höhere Lebensdauer und sind gegen Bruch nur sehr wenig anfällig. Diese Dehnungslücken oder auch die möglichen Abstände zwischen den Einzelelementen haben

keinen oder nur einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Höhe der Dehnung.

Die Erfindung soll an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Dabei zeigt

Fig. 1 die Anordnung mehrerer Einzelelemente auf einem zu dämpfenden Element im Ruhezustand

Fig. 2 die Anordnung der Einzelelemente auf dem zu dämpfenden Element im Moment der Dehnung, wobei S die unerwünschte Deformation ist und A die Dehnung der Einzelelemente dagegen

Fig. 3 eine Anordnung von Gruppen von Einzelelementen auf einem zu dämpfenden Element, das aus mehreren Schichten aufgebaut ist

An dem zu dämpfenden Element wird nach bekannten Verfahren die Vibration festgestellt. Durch ein Lasermessgerät werden die "Schwingungsknoten" und "Schwingungsbäuche" der Vibration sichtbar gemacht. Entsprechend dem Schwingungsverlauf wird ein Konzept nach folgenden Grundsätzen erarbeitet:

- je steifer das Material, um so größer die Dämpfungselemente in ihrer Abmessung,
- je länger die "Schwingungsbäuche", um so länger das Dämpfungselement,

Anschließend werden die Dämpfungselemente auf die "Schwingungsbäuche" geklebt und angeschlossen. Nach dem Anlegen der Spannung tritt die dämpfende Wirkung der Dämpfungselemente ein.

Sensorelemente, die die Deformation anzeigen, werden als Monomorph auf die Rückseite des zu dämpfenden Elementes aufgeklebt. Für den Fall, daß das zu dämpfende Element aus  $Al_2O_3$  besteht, können die Sensorelemente gleich auf die Rückseite in Dickschichttechnik aufgedruckt werden.

Diese Sensorelemente geben ein Signal ab, welches die Richtung der Deformation anzeigt. Durch eine Steuer- und Regelungsapparatur wird das Dämpfungselement dann so angesteuert, daß eine Gegenamplitude erzeugt wird.

In verschiedenen Fällen ist es vorteilhaft, wenn die Dämpfungselemente mehrfach übereinander angeordnet sind und mit einem Polymer vergossen werden, wie in Fig. 3 zu sehen ist.

In diesem Falle schwingt ein ca. 10 cm langer Blechstreifen an einer Maschine durch Vibration hin und her. In die Mitte des Streifens wird ein Dämpfungselement auf  $Al_2O_3$ -Basis geklebt und angeschlossen. Das  $Al_2O_3$ -Stäbchen hat eine Länge von 6 cm und besteht aus 20 hintereinander aufgeklebten piezoelektrischen Einzelelementen. Nach Anlegen des Stromes und Aktivierung des Dämpfungselementes erfolgt eine gegenphasige Vibration durch das Dämpfungselement und in dem Blechstreifen treten keine Vibrationen mehr auf. Auch nach einem einwöchigen Betrieb des Dämpfungselementes sind an den Einzelelementen keine Delaminationen oder Risse erkennbar.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Einzelelement
- 2 Dämpfungselement
- 3 Substrat oder zu dämpfendes Element
- 4 Sensor
- 5 eingelagerte Faserbündel
- 6 Vergußmaterial
- 8 Anschlüsse

#### Patentansprüche

1. Anordnung zur Dämpfung aus elektrisch angeschlossenen Einzelelementen aus piezoelektrischem oder elektrostriktivem Material, bei dem die Einzelelemente aus Stapelaktoren aus mindestens zwei Schichten bestehen und diese Einzelelemente in Reihe oder in Gruppen solcher Reihen oder in mehreren Ebenen übereinander auf das zu dämpfende Element aufgebracht und fest mit diesem verbunden sind, wobei die Einzelelemente nicht fest miteinander verbunden sind.
2. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die mindestens zwei Einzelelemente elektrisch in Reihe oder parallel angeschlossen sind.
3. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Gruppen von Reihen in verschiedenen Winkeln zueinander angeordnet sind.
4. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die inneren Elektroden der mindestens zwei Einzelelemente senkrecht zum zu dämpfenden Element angeordnet sind.
5. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem für die mindestens zwei Einzelelemente über die Richtung der Stromaufnahme die Einzelelemente als Sensoren wirken.
6. Dämpfungselement nach Anspruch 5, bei dem über die Richtung der Stromaufnahme die Dämpfungsanordnung als Sensor für das zu dämpfende Element wirkt.
7. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Einzelelemente aus einem piezoelektrischen Material mit einer hohen d-Konstante bestehen.
8. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Einzelelemente aus einem piezoelektrischen Material mit einer hohen Koerzitivfeldstärke bestehen.
9. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Einzelelemente in einem Polymer eingegossen auf das zu dämpfende Element aufgebracht sind.
10. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Einzelelemente in mehreren Ebenen übereinander angeordnet in einem Polymer eingegossen auf dem zu dämpfenden Element angebracht sind.
11. Dämpfungselement nach Anspruch 9, bei dem das Polymer aus Polyimid besteht.
12. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem der Sensor auf der Rückseite des zu dämpfenden Elementes ein piezoelektrischer Biegeaktor ist.
13. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem der Sensor auf der Rückseite des zu dämpfenden Elementes eine PZT-Dickschicht ist.
14. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Stapelaktoren eine Stapelhöhe bis 200 Schichten aufweisen.
15. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem zwischen den Einzelelementen ein Abstand besteht.
16. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem zwischen den Einzelelementen ein Abstand von maximal der Länge eines Einzelelementes besteht.
17. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem zwischen den Einzelelementen kein Abstand besteht.
18. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Einzelelemente über die Längsseiten elektrisch angeschlossen sind.
19. Dämpfungselement nach Anspruch 1, bei dem die Einzelelemente in Gruppen mit getrennter Ansteuerung eingeteilt sind.
20. Verwendung eines Aktors aus elektrisch angeschlossenen Einzelelementen aus piezoelektrischen

oder elektrostriktiven Materialien, bei dem die Einzel-  
elemente aus Stapelaktoren aus mindestens zwei  
Schichten bestehen und mindestens zwei Einzelele-  
mente quer zu ihren Schichten und hintereinander par-  
allel zu ihren Schichten auf ein Substrat aufgebracht 5  
und mit dem Substrat fest verbunden sind, als Einzel-  
element zur aktiven Dämpfung auf einem zu dämpfen-  
den Element.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

---

- Leerseite -

Fig.1

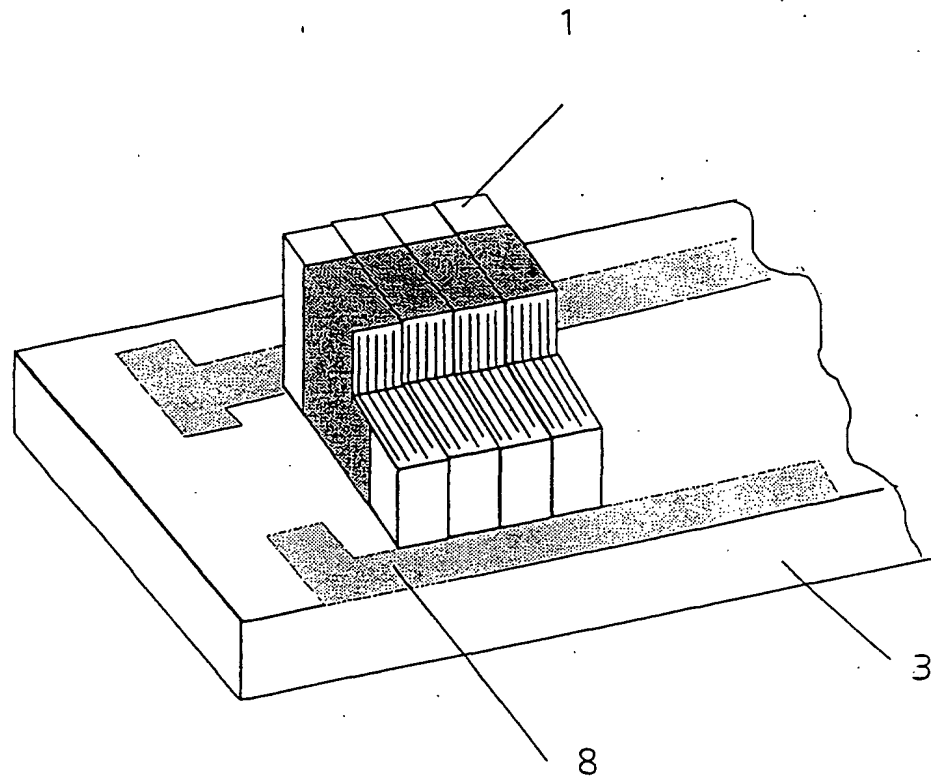


Fig. 2

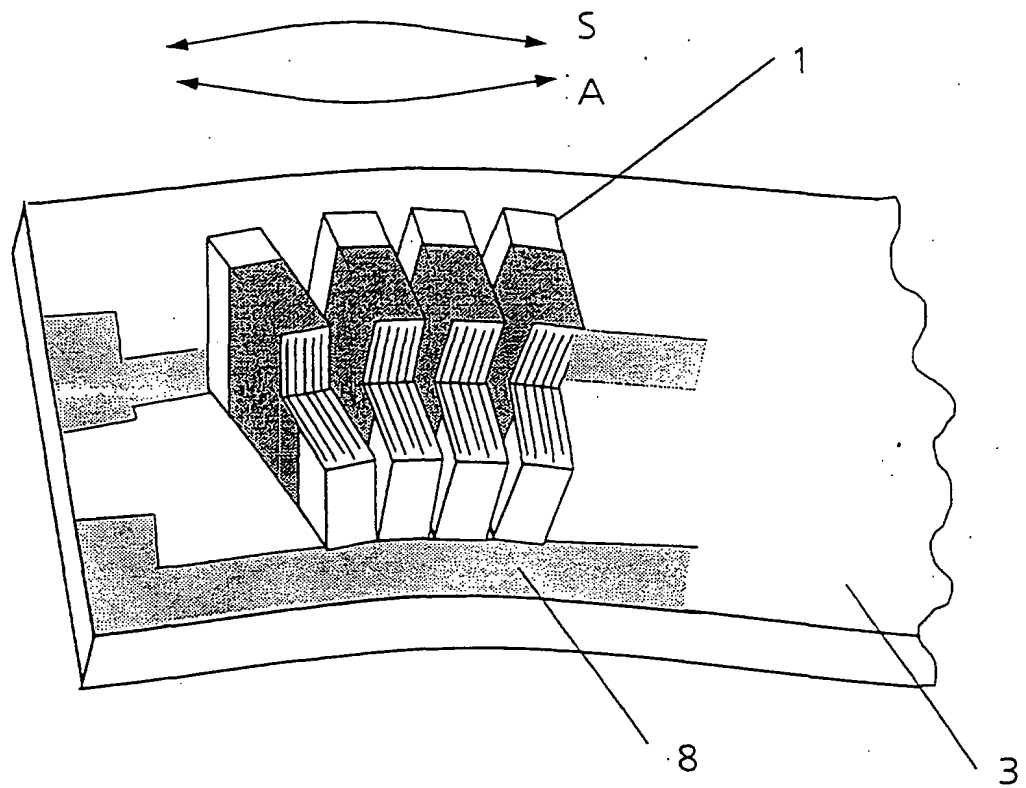
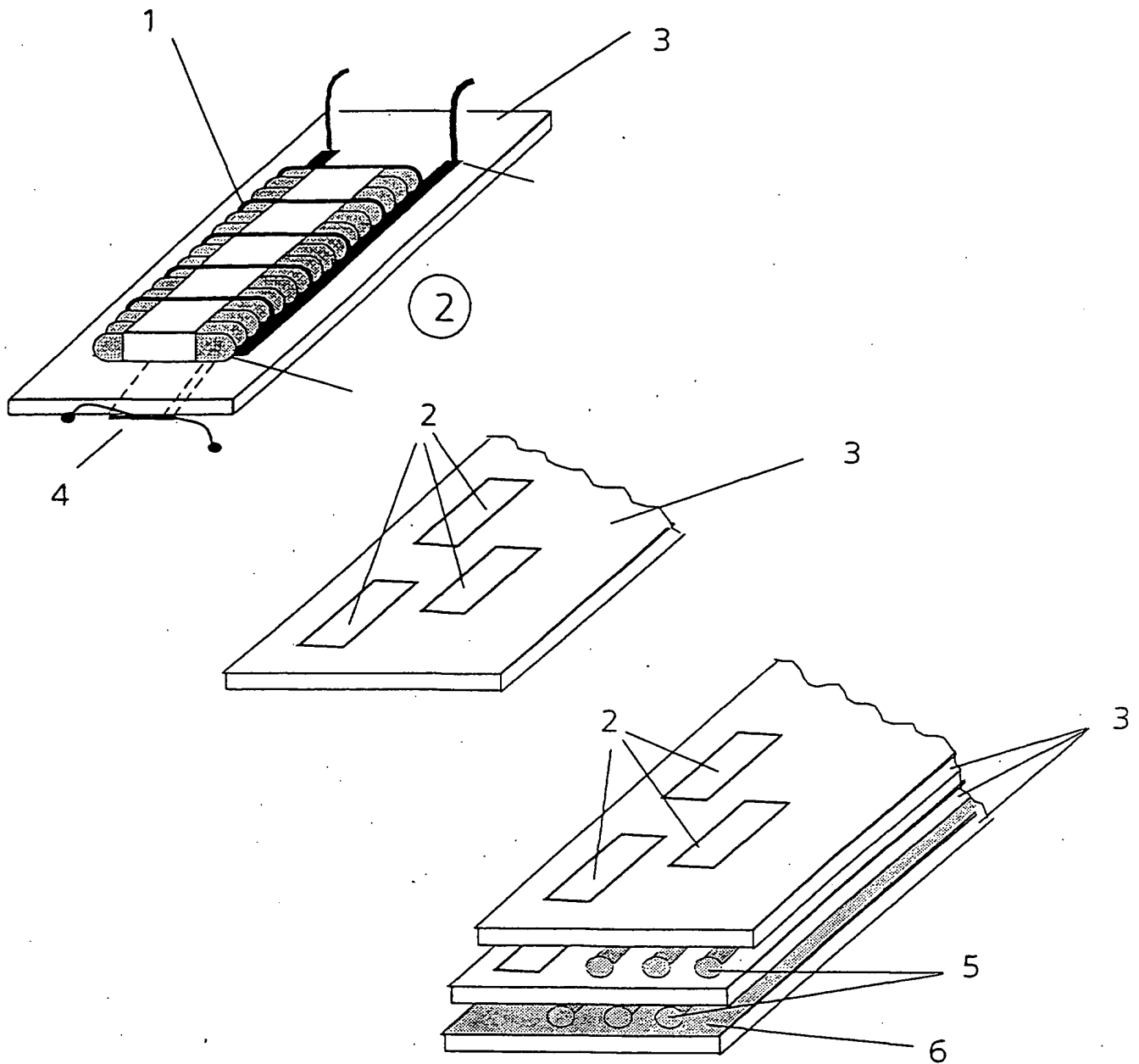




Fig.3



**Damping element for e.g. electrical engineering**

**Patent number:** DE19735649  
**Publication date:** 1999-03-18  
**Inventor:** GESEMANN HANS-JUERGEN DR (DE); SCHOENECKER ANDREAS DR (DE)  
**Applicant:** FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** H01L41/09; G10K11/178  
- **european:** B06B1/06C2; F16F15/00P; G10K11/178E; H01L41/08  
**Application number:** DE19971035649 19970816  
**Priority number(s):** DE19971035649 19970816

[Report a data error here](#)**Abstract of DE19735649**

The element consists of piezoelectrical or electrostrictive material with single elements of stack actuators with low stack height. The elements are provided on top of each other on the element to be damped. At least two single elements are not close coupled and a distance is provided between the two single elements. The two elements are electrically connected and a sensor is on the back side of the element to be damped

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**